

DialogClassic Web (tm) - Copy/Paste WindowDIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

015523054 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 2003-585201/200355

XRPX Acc No: N03-465860

Internal combustion engine operating method, involves causing desired level and gradient of drive energy that is supplied to a fuel injector piezo electric actuator to be dependent on multiple influence quantities

Patent Assignee: BOSCH GMBH ROBERT (BOSC ); AMLER M (AMLE-I); FRENZ T (FREN-I); JOOS K (JOOS-I); WOLBER J (WOLB-I)

Inventor: AMLER M; FRENZ T; JOOS K; WOLBER J

Number of Countries: 003 Number of Patents: 003

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
-----------	------	------	-------------	------	------	------

US 20030062027	A1	20030403	US 2002259419	A	20020930	200355 B
----------------	----	----------	---------------	---	----------	----------

JP 2003120384	A	20030423	JP 2002284435	A	20020927	200355
---------------	---	----------	---------------	---	----------	--------

DE 10148217	C1	20030424	DE 1048217	A	20010928	200355
-------------	----	----------	------------	---	----------	--------

Priority Applications (No Type Date): DE 1048217 A 20010928

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
-----------	------	-----	----	----------	--------------

US 20030062027	A1	10	F02B-043/00		
----------------	----	----	-------------	--	--

JP 2003120384	A	8	F02D-041/20		
---------------	---	---	-------------	--	--

DE 10148217	C1		F02D-041/20		
-------------	----	--	-------------	--	--

Abstract (Basic): US 20030062027 A1

NOVELTY - The method involves actuating and driving a piezo electric actuator (50) by supplying a drive energy (U) having a desired level (UDES) and a desired gradient (dUDES) via an output stage (35). The method also involves causing the desired level and the gradient to be dependent upon multiple quantities (T,t,n,dx,dh) that influence the operating behavior of the piezo actuator.

DETAILED DESCRIPTION - The influence quantities represented by T, t,n,dx are temperature, manufacturing tolerances, desired stroke and deterioration. INDEPENDENT CLAIMS are also included for the following:

- (a) a control apparatus for operating an internal combustion engine
- (b) a computer program executing the method.

USE - Fuel injection control.

ADVANTAGE - The method precisely adjusts the fuel quantity outputted by the injector to the combustion chamber thereby improving the emission performance of the engine.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a detail section view of a fuel-injector of the internal combustion engine.

Drive energy (U)

Desired level (UDES)

Desired gradient (dUDES)

Influential quantities (T,t,n,dx,dh)

Output stage (35)

Piezo electric actuator. (50)

pp; 10 DwgNo 2/5

Title Terms: INTERNAL; COMBUST; ENGINE; OPERATE; METHOD; CAUSE; LEVEL;

GRADIENT; DRIVE; ENERGY; SUPPLY; FUEL; INJECTOR; PIEZO; ELECTRIC; ACTUATE

; DEPEND; MULTIPLE; INFLUENCE; QUANTITY

Derwent Class: Q52; Q53; T01; V06; X22

International Patent Class (Main): F02B-043/00; F02D-041/20



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 101 48 217 C 1**

⑤① Int. Cl. 7:  
**F 02 D 41/20**  
F 02 M 51/06

②① Aktenzeichen: 101 48 217.5-26  
②② Anmeldetag: 28. 9. 2001  
④③ Offenlegungstag: –  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 24. 4. 2003

**DE 101 48 217 C 1**

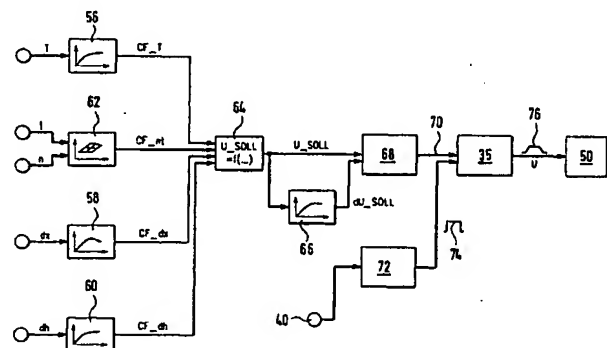
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ **Patentinhaber:**  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE  
  
⑦④ **Vertreter:**  
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188  
Stuttgart

⑦② **Erfinder:**  
Joos, Klaus, 74399 Walheim, DE; Wolber, Jens,  
70839 Gerlingen, DE; Frenz, Thomas, Dr., 86720  
Nördlingen, DE; Amler, Markus, 71229 Leonberg,  
DE  
  
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
DE 199 45 670 A1  
DE 199 31 233 A1  
DE 198 48 950 A1  
DE 198 44 837 A1

⑤④ **Verfahren, Computerprogramm und Steuer- und/oder Regelgerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, sowie Brennkraftmaschine**

⑤⑦ Bei einer Brennkraftmaschine gelangt der Kraftstoff über eine Kraftstoff-Einspritzvorrichtung, welche einen Piezo-Aktor (50) umfasst, in den Brennraum der Brennkraftmaschine. Um den Kraftstoff optimal einspritzen zu können, wird vorgeschlagen, dass das Soll-Niveau (U SOLL) der Ansteuerenergie (U) und/oder der Soll-Gradient (dU SOLL) der Ansteuerenergie (U), mit der der Piezo-Aktor (50) zu einer Betätigung angesteuert wird, von einer Mehrzahl von Einflussgrößen (T, t, n, dx, dh) abhängen bzw. abhängt, welche das Betriebsverhalten des Piezo-Aktors (50) beeinflussen.



**DE 101 48 217 C 1**

## Beschreibung

## Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft zunächst ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, bei dem der Kraftstoff über eine Kraftstoff-Einspritzvorrichtung, welche mit einem Piezoaktor ausgestattet ist, in einen Brennraum der Brennkraftmaschine gelangt.

[0002] Ein solches Verfahren ist aus der DE 198 44 837 A1 bekannt. In dieser ist ein Kraftstoffeinspritzventil gezeigt, dessen Ventilelement mit einem Piezoaktor verbunden ist. Wenn an dem Piezoaktor eine Spannung angelegt wird, erfährt dieser eine Längenänderung, die er auf das Ventilelement überträgt, dieses hebt somit von seinem Ventilsitz ab, so dass Kraftstoff unter hohem Druck aus dem Einspritzventil in den Brennraum der Brennkraftmaschine eingespritzt werden kann.

[0003] Die DE 199 45 670 A1 beschreibt ein Verfahren zur Ansteuerung eines Piezoaktors eines Einspritzventils, bei dem die Ansteuerenergie vom Kraftstoffdruck abhängt. Die DE 199 31 233 A1 beschreibt analog hierzu ein Verfahren, bei dem die Ansteuerenergie von der Temperatur abhängt. Schließlich ist in der DE 198 44 837 A1 ein ähnliches Verfahren beschrieben, bei dem die Ansteuerenergie des Piezoaktors von seinem Alter abhängt.

[0004] Die vorliegende Erfindung hat die Aufgabe, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass der Kraftstoff noch präziser eingespritzt werden kann.

[0005] Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass der Soll-Gradient der Ansteuerenergie, mit der der Piezoaktor zu einer Betätigung angesteuert wird, von einer Mehrzahl von Einflussgrößen abhängen bzw. abhängt, welche das Betriebsverhalten des Piezoaktors beeinflussen.

## Vorteile der Erfindung

[0006] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann die Kraftstoffmenge, welche von einer Einspritzvorrichtung abgegeben wird, mit sehr hoher Präzision eingestellt werden. Dies wirkt sich einerseits günstig auf den Kraftstoffverbrauch der Brennkraftmaschine aus, führt andererseits aber auch zu einem besseren Emissionsverhalten einer solchermaßen betriebenen Brennkraftmaschine. Erfindungsgemäß wurde nämlich erkannt, dass für einen bestimmten Verlauf des Öffnungshubs zweier an sich identischer Piezoaktoren nicht unbedingt der gleiche Verlauf der Ansteuerenergie erforderlich ist. Stattdessen unterliegt das Betriebsverhalten eines Piezoaktors Einflussgrößen, die dazu führen, dass für einen bestimmten Verlauf der Öffnungsbewegung ein individueller Verlauf der Ansteuerenergie erforderlich ist. Dem wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren Rechnung getragen.

[0007] Umfasst eine Brennkraftmaschine mehrere Kraftstoff-Einspritzvorrichtungen mit mehreren Piezoaktoren, ist es möglich, den Verlauf der Ansteuerenergie individuell für jeden Piezoaktor vorzugeben, um den Einfluss individueller Einflussgrößen zu kompensieren. Handelt es sich jedoch um Einflussgrößen, die auf die ganze Gruppe von Piezoaktoren einwirken, kann auch eine Anpassung des Verlaufs der Ansteuerenergie für die Gruppe von Piezoaktoren durchgeführt werden.

[0008] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in Unteransprüchen angegeben.

[0009] In einer ersten Weiterbildung wird vorgeschlagen, dass die aktuellen Werte der Einflussgrößen zur Erzeugung eines korrigierten Soll-Gradienten für die Ansteuerenergie

verwendet werden. Unter dem Begriff "aktuell" wird hier verstanden, dass die Werte zeitnah zu der beabsichtigten Einspritzung durch die Kraftstoff-Einspritzvorrichtung bestimmt bzw. erfasst werden. Auf diese Weise kann also auch berücksichtigt werden, wenn sich die Einflussgrößen verändern. Die Präzision der Einspritzung wird durch diese Weiterbildung nochmals verbessert.

[0010] Dabei wird in besonders vorteilhafter Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgeschlagen, dass ein Norm-Gradient definiert wird, nach dem bei Normbedingungen die Ansteuerenergie verändert werden muss, um eine bestimmte Betätigung zu erreichen, ohne dass der Piezoaktor überschwingt, dass die aktuellen Werte der Einflussgrößen bestimmt bzw. erfasst werden, dass für jede Einflussgröße ein dem aktuellen Wert der Einflussgröße entsprechender Korrekturfaktor bestimmt wird, und dass der Norm-Gradient mit den Korrekturfaktoren beaufschlagt wird, so dass ein korrigierter Soll-Gradient bestimmt wird. Dieses Verfahren ist einfach zu realisieren und liefert gute Ergebnisse.

[0011] Die Erfindung betrifft auch Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, bei dem der Kraftstoff über eine Kraftstoff-Einspritzvorrichtung, welche mit einem Piezoaktor ausgestattet ist, in einen Brennraum der Brennkraftmaschine gelangt, wobei das Soll-Niveau der Ansteuerenergie, mit der der Piezoaktor zu einer Betätigung angesteuert wird, von einer Mehrzahl von Einflussgrößen abhängt, welche das Betriebsverhalten des Piezoaktors beeinflussen.

[0012] Um den Piezoaktor genauer ansteuern zu können, wird für ein solches Verfahren vorgeschlagen, dass eine Norm-Ansteuerenergie definiert wird, welche bei Normbedingungen dem Piezoaktor zugeführt werden muss, um eine bestimmte Betätigung zu erreichen, dass die aktuellen Werte der Einflussgrößen bestimmt bzw. erfasst werden, dass für jede Einflussgröße ein dem aktuellen Wert der Einflussgröße entsprechender Korrekturfaktor bestimmt wird, und dass die Norm-Ansteuerenergie mit den Korrekturfaktoren beaufschlagt wird, so dass eine korrigierte Soll-Ansteuerenergie bestimmt wird.

[0013] In Weiterbildung zu den oben aufgeführten Erfindungen wird auch vorgeschlagen, dass eine korrigierte Soll-Ansteuerenergie durch eine Zeitdauer dividiert wird, innerhalb der die korrigierte Ansteuerenergie erreicht werden darf, ohne dass der Piezoaktor überschwingt, und hieraus der korrigierte Soll-Gradient bestimmt wird. Auch dieses Verfahren ist einfach zu realisieren und kann bspw. in einer "intelligenten" Endstufe durchgeführt werden.

[0014] Möglich ist auch, dass mindestens ein Korrekturfaktor mittels einer Kennlinie aus der entsprechenden Einflussgröße bestimmt wird. Eine solche Kennlinie ermöglicht die Berücksichtigung auch nichtlinearer Zusammenhänge zwischen der Einflussgröße und dem Korrekturfaktor. Dies kommt wiederum der Präzision der Kompensation des Einflusses der Einflussgröße und letztlich also der Präzision bei der Einspritzung zu Gute.

[0015] Ferner kann die korrigierte Soll-Ansteuerenergie und/oder der korrigierte Soll-Gradient mittels mindestens einer Korrekturfunktion bestimmt werden. Eine solche Korrekturfunktion kann additive und/oder multiplikative Korrekturfaktoren auf einfache Art und Weise berücksichtigen.

[0016] Eine besonders hohe Genauigkeit bei gleichzeitig großer Rechengeschwindigkeit wird erreicht, wenn die korrigierte Soll-Ansteuerenergie und/oder der korrigierte Soll-Gradient mittels einer Kennlinie und/oder mittels eines mehrdimensionalen Kennfelds bestimmt werden bzw. wird.

[0017] In Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ferner vorgeschlagen, dass die Einflussgrößen mindestens zwei aus der folgenden Gruppe umfassen: Tem-

peratur, Alter, Fertigungstoleranz, und Soll-Hub. Bei diesen Einflussgrößen handelt es sich um jene, welche den größten Einfluss auf das Betriebsverhalten des Piezo-Aktors haben. Die Temperatur des Piezo-Aktors kann dabei auf unterschiedliche Art und Weise, bspw. durch einen am Aktor angeordneten Temperatursensor, bspw. aber auch durch die Bestimmung der Temperatur des Zylinderkopfes erfasst werden. Das Alter des Piezo-Aktors kann eine rein zeitliche Komponente ("Lebensalter") und/oder eine von der Anzahl der Betätigungen abhängige Komponente ("Verschleiß") umfassen.

[0018] Die Fertigungstoleranzen können wiederum bspw. aus den Drehmomentunterschieden bestimmt werden, die bei zwei unterschiedlichen Kraftstoff-Einspritzvorrichtungen, welche kurz hintereinander mit der gleichen Ansteuerenergie und dem gleichen Verlauf der Ansteuerenergie angesteuert werden, an der Kurbelwelle auftreten. Durch die Berücksichtigung des Soll-Hubs wird der Tatsache Rechnung getragen, dass ein Piezo-Aktor je nach Höhe der Ansteuerenergie unterschiedliche Hübe ausführen kann. Bei einem geringeren Soll-Hub kann es jedoch sein, dass die Einflussgrößen quantitativ und qualitativ auf das Betriebsverhalten des Piezo-Aktors einen anderen Einfluss haben als bei einem Vollhub.

[0019] Die Erfindung betrifft auch ein Computerprogramm, welches zur Durchführung des obigen Verfahrens geeignet ist, wenn es auf einem Computer durchgeführt wird. Dabei wird besonders bevorzugt, wenn das Computerprogramm auf einem Speicher, insbesondere auf einem Flash-Memory, abgespeichert ist.

[0020] Gegenstand der Erfindung ist auch ein Steuer- und/oder Regelgerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine. Um die Brennkraftmaschine leistungs- und emissionsoptimal betreiben zu können, wird vorgeschlagen, dass das Steuer- und/oder Regelgerät einen Speicher umfasst, auf dem ein Computerprogramm der obigen Art abgespeichert ist.

[0021] Weiterhin betrifft die Erfindung eine Brennkraftmaschine mit einem Brennraum und mit einer Kraftstoff-Einspritzvorrichtung, welche einen Piezoaktor (50) umfasst und über welche der Kraftstoff, in den Brennraum (20) gelangt.

[0022] Damit die Brennkraftmaschine leistungs- und emissionsoptimal betrieben werden kann, wird vorgeschlagen, dass sie ein Steuer- und/oder Regelgerät der obigen Art umfasst.

#### Zeichnung

[0023] Nachfolgend wird ein besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung im Detail erläutert. In der Zeichnung zeigen:

[0024] Fig. 1 eine schematische Prinzipdarstellung einer Brennkraftmaschine;

[0025] Fig. 2 eine teilweise geschnittene Darstellung einer Kraftstoff-Einspritzvorrichtung der Brennkraftmaschine von Fig. 1;

[0026] Fig. 3 ein Ablaufschema, nach dem die Brennkraftmaschine von Fig. 1 bzw. die Kraftstoff-Einspritzvorrichtung von Fig. 2 betrieben wird;

[0027] Fig. 4 ein Diagramm, in dem die Ansteuerenergie und der entsprechende Hub der Kraftstoff-Einspritzvorrichtung von Fig. 2 ohne Anwendung des in Fig. 3 dargestellten Verfahrens dargestellt ist; und

[0028] Fig. 5 ein Diagramm ähnlich wie Fig. 4, in dem die Ansteuerenergie und der entsprechende Hub der Kraftstoff-Einspritzvorrichtung von Fig. 2 unter Anwendung des in

Fig. 3 dargestellten Verfahrens dargestellt sind.

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0029] In Fig. 1 trägt eine Brennkraftmaschine insgesamt das Bezugszeichen 10. Sie ist in ein Kraftfahrzeug eingebaut und umfasst mehrere Zylinder, von denen in Fig. 1 nur einer dargestellt ist, welcher das Bezugszeichen 12 trägt. In ihm ist ein Kolben 14 aufgenommen, welcher eine Kurbelwelle 16 antreibt. Die Drehzahl der Kurbelwelle 16 wird von einem Drehzahlsensor 18 abgegriffen.

[0030] Einem Brennraum 20 des Zylinders 12 wird Verbrennungsluft über ein Einlassrohr 22 und ein in Fig. 1 nicht dargestelltes Einlassventil zugeführt. Die Verbrennungsgase werden aus dem Brennraum 20 über ein Abgasrohr 24 abgeführt, welches über ein in Fig. 1 ebenfalls nicht dargestelltes Auslassventil mit dem Brennraum 20 verbunden ist. Kraftstoff wird dem Brennraum 20 über eine als Injektor 26 ausgebildete Kraftstoff-Einspritzvorrichtung direkt eingespritzt. Der Injektor 26 ist mit einem Kraftstoffsystem 28 verbunden, welches in Fig. 1 nur symbolisch dargestellt ist. Es umfasst einen Kraftstoffbehälter, eine Vorförderpumpe, eine Hauptförderpumpe, und eine Kraftstoff-Sammelleitung ("Rail"), in der der Kraftstoff unter hohem Druck gespeichert ist. Der Injektor 26 ist an die Kraftstoff-Sammelleitung angeschlossen.

[0031] Der sich im Brennraum 20 befindende Kraftstoff wird von einer Zündkerze 30 entzündet. Diese erhält die für eine Zündung notwendige Energie von einem Zündsystem 32. Das Zündsystem 32 wird wiederum von einem Steuer- und Regelgerät 34 angesteuert. Dieses ist ausgangsseitig über eine Endstufe 35 auch mit dem Injektor 26 verbunden und steuert diesen an. Eingangsseitig erhält das Steuer- und Regelgerät 34 Signale von einem Temperatursensor 36, welcher die Temperatur des Injektors 26 erfasst. Ferner ist auch der Drehzahlsensor 18 mit dem Steuer- und Regelgerät 34 verbunden. Ein Stellungsgeber 38, welcher die Stellung eines Gaspedals 40 abgreift, liefert ebenfalls Signale an das Steuer- und Regelgerät 34.

[0032] Der Injektor 26 (vgl. Fig. 2) umfasst einen Ventilkörper 42, an dessen brennraumseitigem Ende mehrere über den Umfang verteilte Auslassöffnungen 44 für den Kraftstoff vorhanden sind. Diese können über eine Ventalnadel 46 mit einem Ringraum 48 verbunden werden, der wiederum mit dem Kraftstoffsystem 28 verbunden ist. Das von den Auslassöffnungen 44 abgewandte Ende der Ventalnadel 46 ist fest mit einem Piezo-Aktor 50 gekoppelt (in einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ist auch eine hydraulische Kopplung möglich). Bei diesem handelt es sich um eine schichtartig aufgebaute Säule aus einer Vielzahl von einzelnen Piezoelementen. Das von der Ventalnadel 46 abgewandte Ende des Piezo-Aktors 50 ist mit einem Gehäuse 52 des Injektors verklemt. Der Piezo-Aktor 50 ist über Steuerleitungen 54 mit der Endstufe 35 verbunden. Über diese wird dem Piezo-Aktor 50, in noch darzustellender Art und Weise, die für eine Bewegung des Piezo-Aktors 50 erforderliche Ansteuerenergie zugeführt.

[0033] Die Brennkraftmaschine 10 arbeitet mit Benzindirekteinspritzung, sie kann also sowohl im Schichtbetrieb als auch im Homogenbetrieb arbeiten. Im Schichtbetrieb liegt nur im Bereich der Zündkerze 30 ein zündfähiges Kraftstoffgemisch vor, wohingegen der restliche Teil des Brennraums 20 von Kraftstoff zumindest zunächst weitgehend frei ist. Dies wird dadurch erreicht, dass der Injektor 26 Kraftstoff während eines Kompressionshubs des Kolbens 14 einspritzt. Möglich ist aber auch, dass der Kraftstoff vom Injektor 26 während eines Saughubs des Kolbens 14 eingespritzt wird, was dazu führt, dass der Kraftstoff weitgehend homo-

gen im Brennraum 20 der Brennkraftmaschine 10 verteilt vorliegt. Auch beliebige Kombinationen sind möglich.

[0034] Um eine Einspritzung zu realisieren, wird der Injektor 26 über die Endstufe 35 vom Steuer- und Regelgerät 34 mit einer elektrischen Ansteuerenergie beaufschlagt. Diese führt dazu, dass sich der Piezo-Aktor 50 in Längsrichtung verkürzt. Hierdurch wird die Ventilnadel 46 von ihrem im Bereich der Auslassöffnungen 44 vorhandenen Ventilsitz am Ventilkörper 42 abgehoben, so dass die Auslassöffnungen 44 mit dem Ringraum 48 und letztlich mit dem Kraftstoffsystem 28 verbunden werden. Soll die Einspritzung beendet werden, wird die Beaufschlagung des Piezo-Aktors 50 mit der Ansteuerenergie beendet, so dass dieser wieder seine Ausgangslänge einnimmt und die Ventilnadel 46 an ihrem Ventilsitz in Anlage kommt.

[0035] Die Längenänderung des Piezo-Aktors 50, welche dieser erfährt, wenn an ihn eine elektrische Spannung angelegt wird, hängt jedoch nicht nur von der Höhe der elektrischen Spannung ab, sondern auch von verschiedenen anderen Größen, welche vom Benutzer der Brennkraftmaschine nicht oder nur schwerlich beeinflusst werden können. Diese Größen beeinflussen also das Betriebsverhalten des Piezo-Aktors 50 und werden daher als "Einflussgrößen" bezeichnet. Eine solche Einflussgröße ist bspw. die Temperatur T des Piezo-Aktors 50 (vgl. Fig. 3). Diese wird vom Temperatursensor 36 erfasst und dem Steuer- und Regelgerät 34 übermittelt (alternativ kann die Temperatur auch aus einem Modell ermittelt werden).

[0036] Eine weitere Einflussgröße ist das Alter des Piezo-Aktors 50. Hierunter wird nicht nur das Lebensalter t verstanden, welches bspw. in Tagen, Monaten und/oder Jahren gemessen werden kann, sondern auch die Anzahl n der Hübe, welche der Piezo-Aktor 50 im Laufe seines Lebens bereits ausgeführt hat. Das Lebensalter t wird von einem im Steuer- und Regelgerät 34 vorhandenen Zeitgeber erfasst. Die Anzahl der Hübe n ist im Steuer- und Regelgerät 34 abgelegt und wird bspw. aus der vom Drehzahlsensor 18 abgegriffenen Drehzahl der Kurbelwelle 16 ermittelt. Dabei sei an dieser Stelle erwähnt, dass Alterungseffekte des Piezoaktors auch durch eine sog. Zylindergleichstellungsfunktion und eine Gemischadaption erkannt werden können.

[0037] Eine weitere Einflussgröße ist die Fertigungstoleranz, mit welcher der Piezo-Aktor 50 hergestellt wurde. Auf Grund unterschiedlicher Bedingungen bei der Herstellung des Piezo-Aktors 50 kann es vorkommen, dass bei gleicher Ansteuerenergie und an sich identischen Piezo-Aktoren diese doch unterschiedliche Hübe ausführen. Dies würde dann bei einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine zu von einem Zylinder zum anderen unterschiedlichen Einspritzmengen führen.

[0038] Dem wird bisher mit einer sog. Zylindergleichstellung begegnet: Bei dieser werden die Beschleunigungen der Kurbelwelle 16 nach der Zündung des Gemischs im entsprechenden Zylinder 12 gemessen. Aus den Abweichungen kann auf unterschiedlich eingespritzte Kraftstoffmengen und unterschiedliche Hübe der einzelnen Piezo-Aktoren 50 bei an sich gleicher Ansteuerenergie geschlossen werden.

[0039] Dies wird – bisher – dadurch kompensiert, dass die Dauer eines der Ansteuerimpulse der einzelnen Piezo-Aktoren 50 angepasst wird, um innerhalb eines Arbeitsspiels der Kurbelwelle 16 einen möglichst gleichförmigen Drehmomentverlauf zu erhalten. Im vorliegenden Fall werden die vom Drehzahlsensor 18 festgestellten Drehungleichförmigkeiten der Kurbelwelle 16 jedoch als Einflussgrößen dx in einem Speicher im Steuer- und Regelgerät 34 abgelegt, welche Fertigungstoleranzen der Piezo-Aktoren entsprechen.

[0040] Auch die Höhe des gewünschten Hubes des Piezo-Aktors 50 ist eine Einflussgröße im obigen Sinne. Möglich

ist z. B., dass nur eine sehr geringe Kraftstoffmenge eingespritzt werden soll. In einem solchen Fall kann es erforderlich sein, die Aufbringung der Ansteuerenergie bereits während des Anstiegs der Ansteuerenergie wieder abzubrechen. Auch ein solcher Vorgang beeinflusst das Betriebsverhalten des Injektors des Piezo-Aktors 50, was als Einflussgröße dh im Steuer- und Regelgerät 34 vorliegt.

[0041] Bei den besagten Einflussgrößen handelt es sich vorliegend um aktuelle Werte, welche zeitnah zur geplanten Einspritzung erfasst bzw. bestimmt wurden. Gemäß dem in Fig. 3 dargestellten Verfahren werden aus den oben genannten Einflussfaktoren T, dx und dh über Kennlinien 56, 58 und 60 Korrekturfaktoren CF\_T, CF\_dx und CF\_dh gebildet. Die Einflussgrößen t und n werden in einem Kennfeld 62 zu einem Korrekturfaktor CF\_nt verarbeitet. Die Verwendung von Kennlinien 56, 58 und 60 und des Kennfelds 62 ermöglicht es, auch nichtlineare Zusammenhänge zu berücksichtigen. Die besagten Korrekturfaktoren könnten in ein mehrdimensionales Kennfeld eingespeist werden, welches einen Sollwert U\_SOLL für die Ansteuerspannung erzeugt. Vorliegend wird jedoch eine Korrekturfunktion 64 verwendet, in welcher die Korrekturfaktoren CF\_t, CF\_nt, CF\_dx und CF\_dh multiplikativ und/oder additiv verarbeitet und hierdurch die Soll-Ansteuerspannung U\_SOLL berechnet wird.

[0042] Aus der Soll-Ansteuerspannung U\_SOLL wird mittels einer Kennlinie 66 ein Soll-Gradient dU\_SOLL bestimmt. Bei diesem handelt es sich um die Geschwindigkeit, mit der die Ansteuerspannung U\_SOLL angefahren werden soll. Die Kennlinie 66 ist dabei so gewählt, dass der gewünschte Sollhub schnellstmöglich erreicht wird, ohne dass der Piezo-Aktor 50 in unerwünschter Weise überschwingt. Möglich wäre auch, den Gradienten dU\_SOLL dadurch zu bestimmen, dass die im Kennfeld 64 bestimmte Ansteuerspannung U\_SOLL durch eine Zeitdauer dividiert wird, innerhalb der die korrigierte Soll-Ansteuerspannung U\_SOLL erreicht werden darf, ohne dass der Piezo-Aktor 50 überschwingt. Die Korrekturfunktion 64 und die Kennlinie 66 werden auch als "zentrale Ansteuerfunktion" bezeichnet, bei welcher zentral mehrere Einflussgrößen bei der Bestimmung der Soll-Ansteuerenergie für den Piezo-Aktor 50 berücksichtigt werden.

[0043] Die Sollspannung U\_SOLL und der Soll-Gradient dU\_SOLL werden nun über eine Schnittstelle 68 in Form eines Ansteuersignals 70 an die Endstufe 35 übermittelt. Ein Taktmodul 72 triggert entsprechend der vom Stellungsgeber 38 abgegriffenen Stellung des Gaspedals 40 das Ansteuersignal 70 in der Endstufe 35, so dass die dem gewünschten Soll-Drehmoment entsprechende Einspritzdauer am Injektor 26 generiert wird. Das Triggersignal ist rechteckig und trägt in Fig. 3 das Bezugszeichen 74. Aus dem Ansteuersignal 70 und dem Triggersignal 74 wird in der Endstufe 35 die eigentliche Steuerspannung U generiert, welche mit einem Gradienten dU/dt ansteigt und abfällt. Dieses Signal trägt in Fig. 3 das Bezugszeichen 76.

[0044] Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass alternativ auch eine "intelligente" Endstufe verwendet werden kann, in die die zentrale Ansteuerfunktion integriert ist.

[0045] Die Wirkung des in Fig. 3 dargestellten Verfahrens ist aus den Fig. 4 und 5 ersichtlich. Dabei ist zunächst in Fig. 4 der Verlauf des Hubs h des Piezo-Aktors 50 und der Verlauf der Ansteuerspannung U ersichtlich, wenn die Einflussgrößen T, dx, dh und t bzw. n nicht berücksichtigt werden. In diesem Fall wird von der Endstufe 35 eine Norm-Ansteuerspannung U\_NORM abgegeben, welche unter Normbedingungen zu einem Hub h\_NORM führen würde. Auf Grund der besagten Einflussgrößen T, t, n, dx und dh

liegen im realen Betrieb jedoch keine Normbedingungen vor. Der tatsächlich am Piezo-Aktor 50 erzeugte Hub  $h_{IST}$  ist daher kleiner als der Normhub  $h_{NORM}$ . Dabei ist der Hubgradient  $dh/dt$  kleiner als an sich zulässig wäre, ohne dass der Piezo-Aktor 50 überschwingt.

[0046] Wenn das in Fig. 3 dargestellte Verfahren angewendet wird, liegt die tatsächliche Ansteuerspannung  $U_2$  oberhalb der Norm-Ansteuerspannung  $U_{NORM}$ . Entsprechend ist der Spannungsgradient  $dU_2/dt$  größer als der Normgradient  $dU_{NORM}/dt$ . Bei optimal arbeitender Endstufe 35 ist der Gradient  $dU_2/dt$  gleich  $dU_{SOLL}$ . Durch die Korrekturen in den Verfahrensblocken 64 und 66 ist nun der tatsächliche am Piezo-Aktor 50 erzeugte Hub  $h_{IST}$  gleich dem gewünschten Normhub  $h_{NORM}$ . Dabei wird die maximal mögliche Hubgeschwindigkeit  $dh_{NORM}/dt$  ausgenutzt, bei welcher der Piezo-Aktor 50 gerade noch nicht in unerwünschtem Maße überschwingt. Durch die Anwendung des in Fig. 3 dargestellten Verfahrens wird somit über die gesamte Lebensdauer des Piezo-Aktors 50 eine gleichbleibend optimale Ansteuerung des Piezo-Aktors 50 ermöglicht.

[0047] Es sei darauf hingewiesen, dass das obige Verfahren auch bei Saugrohreinspritzung und bei Diesel-Brennkraftmaschinen eingesetzt werden kann.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10), bei dem der Kraftstoff über eine Kraftstoff-Einspritzvorrichtung (26), welche mit einem Piezoaktor (50) ausgestattet ist, in einen Brennraum (20) der Brennkraftmaschine (10) gelangt, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Soll-Gradient ( $dU_{SOLL}$ ) der Ansteuerenergie ( $U$ ), mit der der Piezoaktor (50) zu einer Betätigung angesteuert wird, von einer Mehrzahl von Einflussgrößen ( $T, t, n, dx, dh$ ) abhängt, welche das Betriebsverhalten des Piezoaktors (50) beeinflussen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuellen Werte der Einflussgrößen ( $T, t, n, dx, dh$ ) zur Erzeugung eines korrigierten Soll-Gradienten ( $dU_{SOLL}$ ) für den Anstieg der Ansteuerenergie ( $U$ ) verwendet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Norm-Gradient definiert wird, nach dem bei Normbedingungen die Ansteuerenergie verändert werden muss, um eine bestimmte Betätigung zu erreichen, ohne dass der Piezoaktor überschwingt, dass die aktuellen Werte der Einflussgrößen erfasst bzw. bestimmt werden, dass für jede Einflussgröße ein dem aktuellen Wert der Einflussgröße entsprechender Korrekturfaktor bestimmt wird, und dass der Normgradient mit den Korrekturfaktoren beaufschlagt wird, so dass ein korrigierter Soll-Gradient bestimmt wird.
4. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10), bei dem der Kraftstoff über eine Kraftstoff-Einspritzvorrichtung (26), welche mit einem Piezoaktor (50) ausgestattet ist, in einen Brennraum (20) der Brennkraftmaschine (10) gelangt, wobei das Soll-Niveau ( $U_{SOLL}$ ) der Ansteuerenergie ( $U$ ), mit der der Piezoaktor (50) zu einer Betätigung angesteuert wird, von einer Mehrzahl von Einflussgrößen ( $T, t, n, dx, dh$ ) abhängt, welche das Betriebsverhalten des Piezoaktors (50) beeinflussen, dadurch gekennzeichnet, dass eine Norm-Ansteuerenergie ( $U_{NORM}$ ) definiert wird, welche bei Normbedingungen dem Piezoaktor (50) zugeführt werden muss, um eine bestimmte Betätigung ( $h_{NORM}$ ) zu erreichen, dass die aktuellen Werte der Einflussgrößen ( $T, t, n, dx, dh$ ) bestimmt bzw. erfasst

werden, dass für jede Einflussgröße ( $T, t, n, dx, dh$ ) ein dem aktuellen Wert der Einflussgröße ( $T, t, n, dx, dh$ ) entsprechender Korrekturfaktor ( $CF_T, CF_{nt}, CF_{dx}, CF_{dh}$ ) bestimmt wird, und dass die Norm-Ansteuerenergie ( $U_{NORM}$ ) mit den Korrekturfaktoren ( $CF_T, CF_{nt}, CF_{dx}, CF_{dh}$ ) beaufschlagt wird, so dass eine korrigierte Soll-Ansteuerenergie ( $U_{SOLL}$ ) bestimmt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4 in Verbindung mit einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine korrigierte Soll-Ansteuerenergie ( $U_{SOLL}$ ) durch eine Zeitdauer ( $dt$ ) dividiert wird, innerhalb der die korrigierte Soll-Ansteuerenergie ( $U_{SOLL}$ ) erreicht werden darf, ohne dass der Piezoaktor (50) überschwingt, und hieraus der korrigierte Soll-Gradient ( $dU_{SOLL}$ ) bestimmt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Korrekturfaktor ( $CF_T, CF_{dx}, CF_{dh}$ ) mittels einer Kennlinie (56, 58, 60) aus der entsprechenden Einflussgröße ( $T, dx, dh$ ) bestimmt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die korrigierte Soll-Ansteuerenergie ( $U_{SOLL}$ ) und/oder der korrigierte Soll-Gradient mittels mindestens einer Korrekturfunktion (64) bestimmt werden/wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die korrigierte Soll-Ansteuerenergie und/oder der korrigierte Soll-Gradient ( $dU_{SOLL}$ ) mittels einer Kennlinie (66) und/oder mittels eines mehrdimensionalen Kennfelds bestimmt werden/wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Einflussgrößen ( $T, t, n, dx, dh$ ) mindestens zwei aus der folgenden Gruppe umfassen: Temperatur ( $T$ ), Alter ( $t, n$ ), Fertigungstoleranz ( $dx$ ), und Soll-Hub ( $dh$ ).

10. Computerprogramm, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche geeignet ist, wenn es auf einem Computer ausgeführt wird.

11. Computerprogramm nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass es auf einem Speicher, insbesondere auf einem Flash-Memory, abgespeichert ist.

12. Steuer- und/oder Regelgerät (34) zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass es einen Speicher umfasst, auf dem ein Computerprogramm nach einem der Ansprüche 10 oder 11 abgespeichert ist.

13. Brennkraftmaschine (10), mit einem Brennraum (20) und mit einer Kraftstoff-Einspritzvorrichtung (26), welche einen Piezoaktor (50) umfasst und über welche der Kraftstoff in den Brennraum (20) gelangt, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Steuer- und/oder Regelgerät (34) nach Anspruch 12 umfasst.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

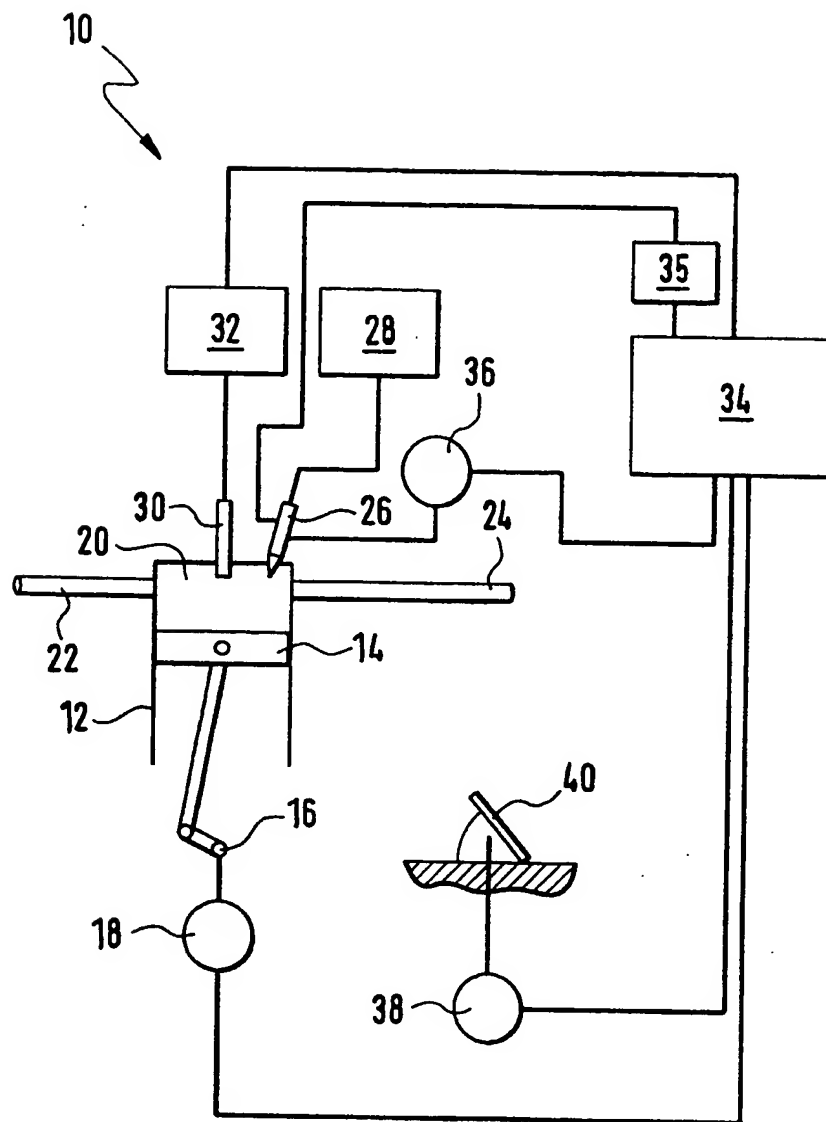


Fig. 1



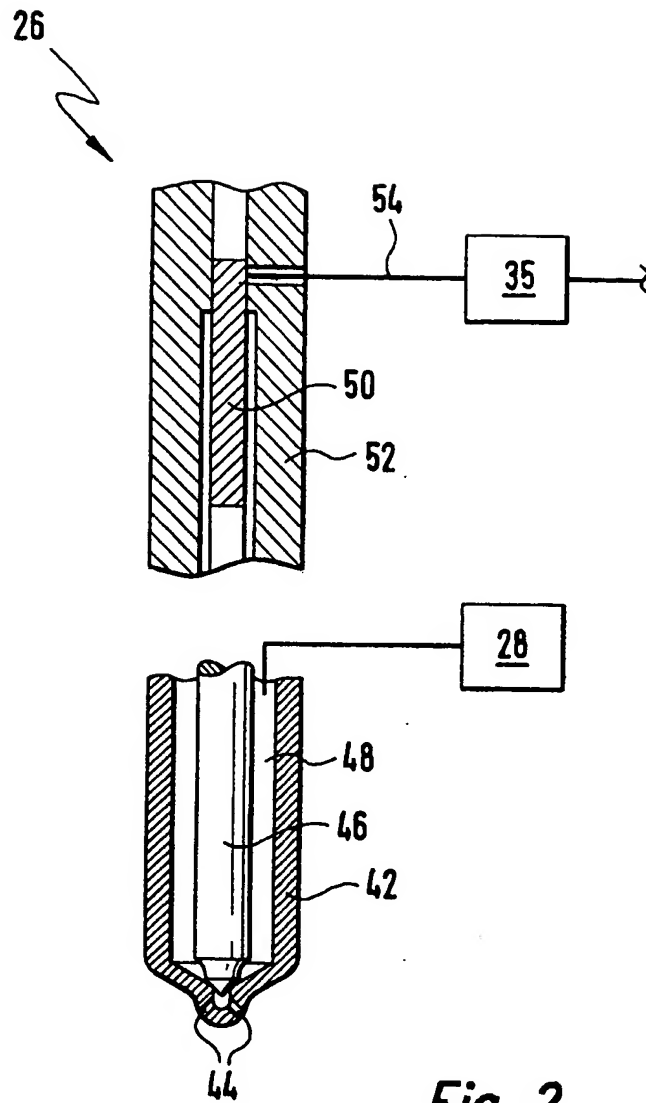
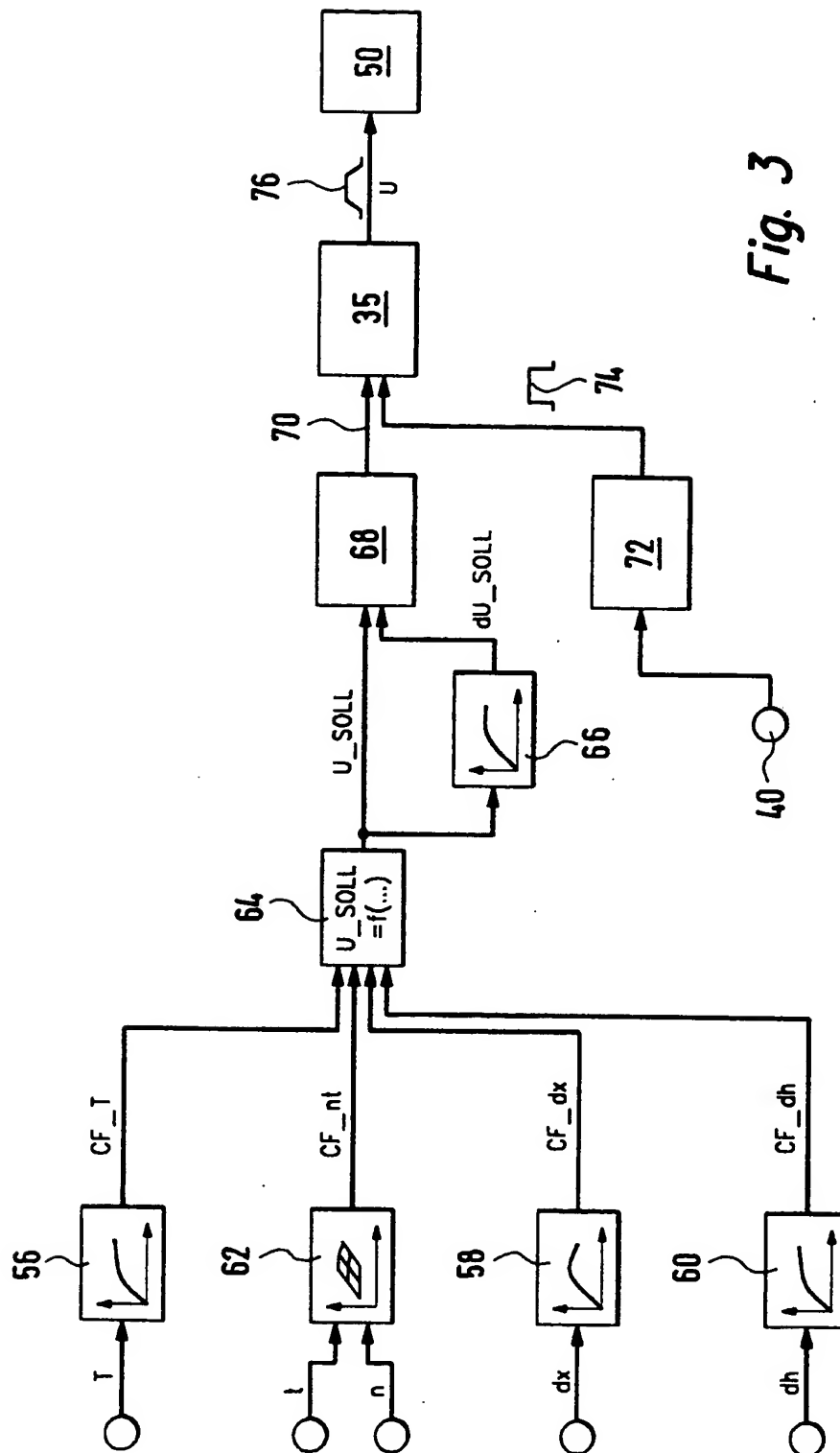
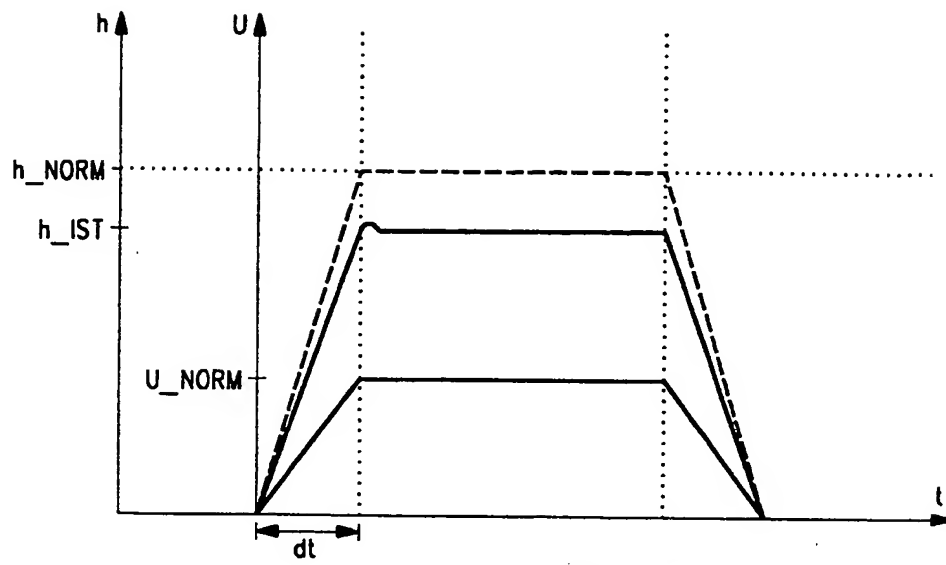
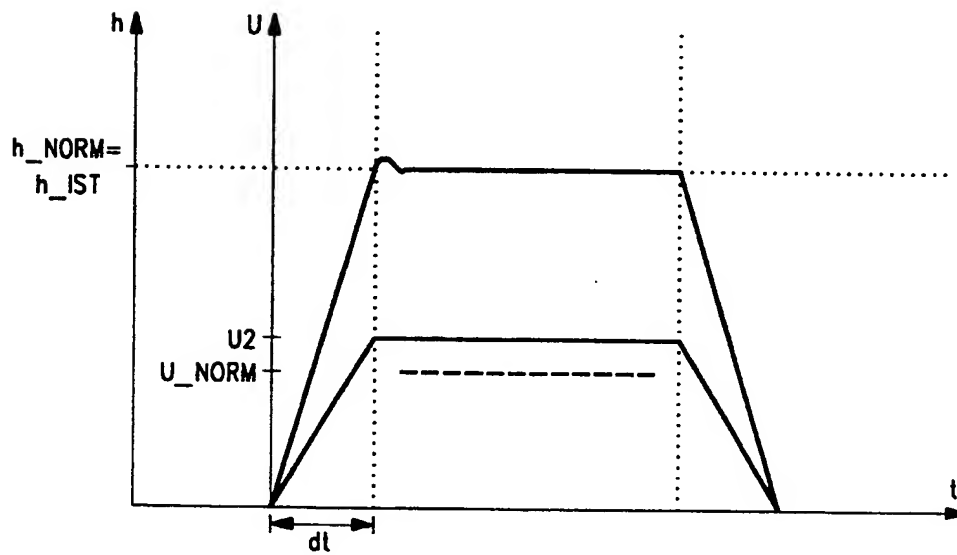


Fig. 2





*Fig. 4*



*Fig. 5*